

(11)Publication number : 2000-262485  
(43)Date of publication of application : 26.09.2000

(51)Int.Cl. A61B 5/055  
G01R 33/389

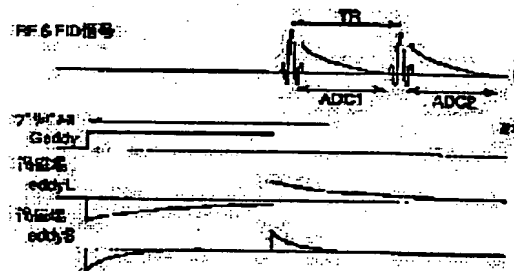
(21)Application number : 11-066606 (71)Applicant : TOSHIBA CORP  
(22)Date of filing : 12.03.1999 (72)Inventor : YUI MASAO  
MIURA SUKEHIRO  
ICHINOSE NOBUYASU  
KASAI YOSHIMORI

(54) EDDY MAGNETIC FIELD MEASURING METHOD, AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING DEVICE

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure an eddy magnetic field caused by eddy current generated in switching the inclined magnetic field in a magnetic resonance imaging device in a short time with excellent accuracy even when the eddy magnetic field has a time constant over the extensive range of the time constant from several ms to several seconds.

SOLUTION: The static magnetic field is applied to an NMR sample arranged at a place of measurement, the pulse-like inclined magnetic field pre-pulse is applied once, and then, a sample is excited a plurality of times, the signal by each excitation is recovered without applying the inclined magnetic field to obtain the time constant and the strength of the eddy magnetic field.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.01.2004  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Best Available Copy

## (要約+要約+請求の範囲)

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
 (12)【公報種別】公開特許公報(A)  
 (11)【公開番号】特開2000-262485(P2000-262485A)  
 (43)【公開日】平成12年9月26日(2000. 9. 26)  
 (54)【発明の名称】渦磁場計測方法及び磁気共鳴イメージング装置  
 (51)【国際特許分類第7版】

A61B 5/055  
 G01R 33/389

## 【FI】

A61B 5/05 341  
 374  
 G01N 24/06 530 F  
 530 Y

【審査請求】未請求

【請求項の数】10

【出願形態】OL

【全頁数】11

(21)【出願番号】特願平11-66606

(22)【出願日】平成11年3月12日(1999. 3. 12)

(71)【出願人】

【識別番号】000003078

【氏名又は名称】株式会社東芝

【住所又は居所】神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)【発明者】

【氏名】油井 正生

【住所又は居所】栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会社東芝那須工場内

(72)【発明者】

【氏名】三浦 資弘

【住所又は居所】栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会社東芝那須工場内

(72)【発明者】

【氏名】市之瀬 伸保

【住所又は居所】栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会社東芝那須工場内

(72)【発明者】

【氏名】葛西 由守

【住所又は居所】栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会社東芝那須工場内

(74)【代理人】

【識別番号】100058479

【弁理士】

【氏名又は名称】鈴江 武彦 (外6名)

【テーマコード(参考)】

4C096

【Fターム(参考)】

4C096 AB06 AB18 AB25 AB33 AD09 AD12 BA03 BA10 BA32 BB02 CB17 CD10 FA03 FA07

(57)【要約】

【課題】磁気共鳴イメージング装置において傾斜磁場の切換え時に発生する渦電流による渦磁場を、数msから数sの広い時定数範囲に亘る時定数を有する渦磁場でも、短時間に、しかも精度良く計測すること。

【解決手段】計測箇所配置されたNMRサンプルに静磁場を印加するとともに、パルス状の傾斜磁場プリパルスを一回印加し、その後、サンプルを複数回励起し、各励起による信号を傾斜磁場を印加することなく収集し、渦磁場の時定数と強度とを求める渦磁場計測方法。

#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】磁気共鳴イメージング装置において傾斜磁場の切換え時に発生される渦電流による渦磁場を計測する渦磁場計測方法において、計測箇所配置された物質に静磁場を印加するとともに、パルス状の傾斜磁場の1回の印加に対して物質を複数回励起し、傾斜磁場を実質的に印加することなく各励起による信号を収集し、渦磁場の時定数と強度とを求めることを特徴とする渦磁場計測方法。

【請求項2】渦磁場を計測したい箇所のみにサンプルを配置し、サンプルの配置を少なくとも2箇所に変化させて上記の計測を行い、収集した信号の位相の時間変化曲線から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする請求項1に記載の渦磁場計測方法。

【請求項3】磁気共鳴イメージング装置の撮影空間にファントムを配置し、スライス傾斜磁場を印加してスライスを選択して上記の計測を行い、収集した信号の位相の時間変化曲線から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする請求項1に記載の渦磁場計測方法。

【請求項4】少なくとも2つのスライスに対して上記の計測を行い、収集した信号の位相の時間変化曲線から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする請求項3に記載の渦磁場計測方法。

【請求項5】前記パルス状の傾斜磁場の強度を変えて上記の計測を少なくとも2回を行い、2つの収集信号セットの位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする請求項2、または請求項4に記載の渦磁場計測方法。

【請求項6】前記パルス状の傾斜磁場の強度と物質の励起に使われる高周波パルスの搬送波周波数は変えずに、スライス傾斜磁場の強度を変えて上記の計測を少なくとも2回を行い、2つの収集信号セットの位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする請求項4に記載の渦磁場計測方法。

【請求項7】前記パルス状の傾斜磁場の強度とスライス傾斜磁場の強度は変えずに、物質の励起に使われる高周波パルスの搬送波周波数を変えて上記の計測を少なくとも2回を行い、2つの収集信号セットの位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする請求項4に記載の渦磁場計測方法。

【請求項8】磁気共鳴イメージング装置の撮影空間にファントムを配置し、励起後、位相エンコード傾斜磁場を印加して各励起による信号収集を、位相エンコード量を変えて繰返し、収集した信号の位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする請求項1に記載の渦磁場計測方法。

【請求項9】複数のチャンネルを有するコイル装置と、各チャンネルの駆動信号を発生するコントローラと、各チャンネルの駆動信号を渦磁場による波形の歪を補償するように整形する第1の補償手段と、各チャンネルの駆動信号を他のチャンネルの渦磁場による波形の歪を補償するように整形する第2の補償手段と、第1の補償手段の出力信号と第2の補償手段の出力信号との合成信号を各チャンネルのコイル装置に供給する駆動手段とを具備する磁気共鳴イメージング装置。

【請求項10】前記第1の補償手段は請求項1乃至請求項8のいずれかに記載の渦磁場計測方法に従って渦磁場の時定数と強度を求め、求めた時定数、強度に応じて駆動信号の波形を成形することを特徴とする請求項9に記載の磁気共鳴イメージング装置。

## 詳細な説明

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気共鳴イメージング装置に関し、特にパルス状に発生される傾斜磁場により発生する渦電流に基づく磁場変動(傾斜磁場波形の歪み)を高精度に、しかも高速に計測する渦磁場計測方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】磁気共鳴イメージング装置(以下、MRI装置と略称する)は、被検者を含む検査空間に静磁場磁石によって均一な静磁場を印加して分極磁化を作り出し、高周波電磁場と傾斜磁場をパルス状に印加して、被検者の体内の原子核に磁気共鳴現象を引き起こし、この磁気共鳴現象により発生する磁気共鳴信号(NMR信号)を受信した後、計算機処理により断層像を再構成する装置である。傾斜磁場は傾斜磁場コイルおよび傾斜磁場アンプによりパルス状に生成されるため、傾斜磁場コイルの周囲に電気伝導体があると、傾斜磁場の切換え時に伝導体に渦電流が発生する。電気伝導体の例としては、静磁場磁石の熱シールド等が挙げられる。現在、0.5テスラ以上のMRI装置で使用される超伝導磁石の場合、最内層には液体ヘリウム層があり、その外層には液体窒素層など複数の金属層が配置されている。これらの金属層の温度、材質、サイズは同一でないため、渦電流の強度・時定数は複数の成分を有することになる。典型的な時定数は数msから数sまでの広い範囲に亘っている。渦電流により生成される変動磁場(以下、渦磁場と略称する)は、MRI装置のコントローラが指示する傾斜磁場波形を歪め、画像のアーチファクトをもたらす。

【0003】発生される渦磁場の強度を小さくしたり、渦磁場に応じて傾斜磁場波形を整形する技術が幾つか報告されている。その代表例が、前者ではアクティブシールド型傾斜磁場コイル(ASGC)を用いることであり、後者では渦磁場補償である。原理的には、ASGCによって渦磁場強度を大幅に低減することができるが、ASGCの製造誤差やコイル線材の離散配置等の理由で、微小な渦磁場が発生することが避けられない。エコープラナー法等の近年発達の著しい超高速撮影法では、この僅かな渦磁場の存在によっても画像にアーチファクトが発生する場合がある。このため、ASGCは単独で用いるのではなく、渦磁場補償と併用されることが多い。

【0004】この渦磁場補償を正確に行うためには、渦磁場の強度と時定数をあらかじめ計測する必要がある。渦磁場を感度良く計測する手段として、以下に述べるようにNMR信号を用いた手法が各種提案されている。しかし、後述するように、何れの手法でも、数msから数sまでの広い範囲に亘っている渦磁場の時定数を短時間に、精度良く計測することはできなかった。

【0005】第1の渦磁場計測方法として、特公平3-49453号公報に記載の方法がある。NMR撮影のためのサンプル(例えば、水が充満された袋)を磁場中心から離して配置し、傾斜磁場(データ収集で用いられる傾斜磁場パルスより時間的に前に修飾用に印加される傾斜磁場パルスのため、以下プリパルスと呼称する)を印加した後に、同サンプルのFID信号を取得し、その位相変化から渦磁場の波形を計測する。図12にその収集方法に関するパルスシーケンスを示す。Geddyがプリパルスを表わし、eddyLとeddySはプリパルスGeddyにより誘起される渦磁場を表わし、eddyLは時定数TLが長い成分、eddySは時定数TSが短い成分をそれぞれ表す。TLとしては数s、TSは数msから数10msに対応する。ADC1やADC2はFID信号のサンプリング期間を表し、典型的には100ms前後の期間である。

【0006】FID信号はNMRサンプル全体からの信号であるので、同サンプルは小さくなくてはならないし、磁場中心から離して配置する必要がある。短時定数渦磁場eddySを計測するには、プリパルスGeddyの印加直後に開始するサンプリング期間ADC1のみで十分である。しかし、長時定数渦磁場eddyLを計測するためには、プリパルスGeddyの印加後に所定の遅延時間TDを置いたサンプリング期間ADC2にFID信号を収集する必要がある。このようにプリパルスとデータ収集期間との間隔(遅延時間TD)を変えてFID信号を何回か収集することにより、長時定数渦磁場eddyLの計測が可能となる。

【0007】図13にその原理を説明する。図13のグラフは、NMR信号ないしMRI画像における渦磁場による位相シフトの時間変化を表す。図13の131と132に示すように、短時定数と長時定数の2成分の渦磁場があるとする。図12のサンプリング期間ADCは、図13の「読み出し傾斜磁場無し」の行に両端に矢印を付した各期間に対応する。FID信号収集を繰り返す(ADC1~ADCn)ことにより、時定数の長い成分が減衰するまで計測することができる。ただし、この場合、プリパルスの印加間隔TGは、前のプリパルスによる渦磁場が十分減衰するよう、長時間時定数TLの1

0倍程度にする必要がある。

【0008】そのため、この方法では、計測時間が長くなるというデメリットがあった。計測時間を以下の条件で見積もることとする。FID信号収集のための励起の回数 $N$ としては、遅延時間 $TD$ を変えて数回データを収集しなくてはならないので、ここでは、 $N=10$ 回とする。 $TL$ を約 $1s$ と仮定すると、 $TG$ は約 $10s$ となる。また、NMRサンプルを配置する位置として少なくとも2箇所が必要である。これは、渦磁場の空間成分には、1次成分の他に0次成分や、より高次の成分があるからである。この0次成分は、ASGCの中心ずれ(製造誤差、組立誤差)に由来するので、ASGC毎に変化する。高次成分は、ASGCと磁石(渦発生源)との半径差などから必ず発生する。渦補償では1次成分のみを計測しなければならないため、NMRサンプルを配置する位置を複数回( $M$ 回: 少なくとも2回、ここでは2回)変える必要がある。したがって、NMRサンプルを計測する時間は少なくとも $TG \times N \times M$ (約 $200s$ )となり、計測時間はかなり長くなる。

【0009】第1の渦磁場計測方法の改良例として、特開平4-189344号公報に記載の方法がある。この方法では、NMRサンプルを移動させる必要がなく、複数のサンプル点における渦磁場を同時に計測することができる。しかし、この方法でも、長い時定数を計測する際には、遅延時間 $TD$ を変えることがやはり必要であり、データ収集にかかる時間は特公平3-49453号公報の場合と同等である。

【0010】第2の渦磁場計測方法として、渦磁場の空間分布を計測する方法が特開平2-177940号公報に提案されている。この方法では、スピンエコー(SE)法、あるいはフィールドエコー(FE)法でイメージングして画像を得た後に、傾斜磁場プリパルスを加えてSE法ないしFE法のイメージングシーケンスを実施し、得られたそれぞれの画像の位相差から渦磁場強度の空間分布を求めている。図14に2次元FE法の場合のパルスシーケンスを示す。図のGrはリードアウト傾斜磁場、Geは位相エンコード傾斜磁場である。得られる位相差分画像値は、プリパルスGeddy印加後からエコータイムTEまでの渦磁場強度の積分値にほぼ比例する。

【0011】この従来技術の文献中には、渦磁場の時定数を計測することは記載があるが、時定数と強度の両方を計測する方法は開示されていない。これは、この第2の手法では、プリパルスとエコー収束時刻との間隔(プリパルス印加終了時刻と励起用のRFパルス印加までの時間+エコータイム)を変えたり、プリパルスの印加時間を変化させたりして、上記の位相画像を何枚も計測する必要があるからである。図14のサンプリング期間ADCは図13の「読み出し傾斜磁場有り」の行の点に対応する。点の一つがFE法の一回のイメージングに相当する。但し、この場合、エコータイムより短い時定数を持つ渦磁場を計測することはできない。したがって、数msの時定数の渦磁場を計測することはできない。一方、これより長い時定数の渦磁場についても、複数の位相を渦磁場強度と時定数をパラメータに持つ複雑な関数でフィットすることで値を決定することになるので、その精度は高くない。

【0012】第2の渦磁場計測方法を改良した方法として、一つのプリパルスにつきFE法のイメージングシーケンスを複数回繰り返す第3の渦磁場計測方法がある("New Efficient Eddy-Field-Mapping Procedure(FAME)", J. Schiff, H. Rotem, S. Stokar, and N. Kaplan, Journal of Magnetic resonance, Series B 104, 73-76(1994))。これにより、FE法のイメージングシーケンスの実行時間より長い時定数の渦磁場の時定数と強度を計測することが可能となる。しかし、この方法もエコータイムより短い時定数を持つ渦磁場を計測することはできないし、エコータイムより長くFE法のイメージングシーケンスの実行時間より短い時定数を持つ渦磁場の計測精度は高くない。

【0013】以上述べたように、従来の渦磁場計測法においては、数msから数sの広い時定数範囲に亘る時定数を短時間に計測できなかったし、長時間かかって計測した値も精度が悪いという問題点があった。

【0014】さらに、上述したように、ASGCの性能向上や、渦磁場の高精度の計測、及び補償により、渦磁場のカップリング成分(以下、カップリング渦と呼ぶ)の存在が問題となってきた。例えばxチャンネルの傾斜磁場コイルをパルス駆動したときに、x方向に強度変化する渦磁場の他に、y方向ないしz方向に強度変化する渦磁場成分も発生している。しかし、従来は、渦磁場を高精度に、しかも短時間に計測することができなかったため、このようなカップリング渦の影響は無視していた。このため、高精度な渦補償ができなかった。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、従来の渦磁場計測法においては、数msから数sの広い時定数範囲に亘る時定数を短時間に計測できなかったし、長時間かかって計測した値も精度が悪いという問題点があった。さらに、カップリング渦を補償することができないという問題点があった。

【0016】本発明の目的は、数msから数sの広い時定数範囲に亘る時定数の渦磁場の時定数と強度とを正確に短時間で計測できる渦磁場計測方法を提供することにある。

【0017】本発明の他の目的は、他チャンネルの傾斜磁場に基づく渦磁場であるカップリング渦の影響を高精度に計測し、補償する磁気共鳴イメージング装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決し目的を達成するために、本発明は以下に示す手段を用いている。

【0019】(1)磁気共鳴イメージング装置において傾斜磁場の切換え時に発生される渦電流による渦磁場を計測する渦磁場計測方法において、計測箇所配置された物質に静磁場を印加するとともに、パルス状の傾斜磁場の1回の印加に対して物質を複数回励起し、傾斜磁場を実質的に印加することなく各励起による信号を収集し、渦磁場の時定数と強度とを求める。

【0020】(2)渦磁場を計測したい箇所にのみサンプルを配置し、サンプルの配置を少なくとも2箇所に変化させて上記の計測を行い、収集した信号の位相の時間変化曲線から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする(1)に記載の渦磁場計測方法。

【0021】(3)磁気共鳴イメージング装置の撮影空間にファントムを配置し、スライス傾斜磁場を印加してスライスを選択して上記の計測を行い、収集した信号の位相の時間変化曲線から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする(1)に記載の渦磁場計測方法。

【0022】(4)少なくとも2つのスライスに対して上記の計測を行い、収集した信号の位相の時間変化曲線から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする(3)に記載の渦磁場計測方法。

【0023】(5)前記パルス状の傾斜磁場の強度を変えて上記の計測を少なくとも2回を行い、2つの収集信号セットの位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする(2)、または(4)に記載の渦磁場計測方法。

【0024】(6)前記パルス状の傾斜磁場の強度と物質の励起に使われる高周波パルスの搬送波周波数は変えずに、スライス傾斜磁場の強度を変えて上記の計測を少なくとも2回を行い、2つの収集信号セットの位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする(4)に記載の渦磁場計測方法。

【0025】(7)前記パルス状の傾斜磁場の強度とスライス傾斜磁場の強度は変えずに、物質の励起に使われる高周波パルスの搬送波周波数を変えて上記の計測を少なくとも2回を行い、2つの収集信号セットの位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする(4)に記載の渦磁場計測方法。

【0026】(8)磁気共鳴イメージング装置の撮影空間にファントムを配置し、励起後、位相エンコード傾斜磁場を印加して各励起による信号収集を、位相エンコード量を変えて繰返し、収集した信号の位相の時間変化曲線の差分から渦磁場の時定数と強度を求めることを特徴とする(1)に記載の渦磁場計測方法。

【0027】(9)複数のチャンネルを有するコイル装置と、各チャンネルの駆動信号を発生するコントローラと、各チャンネルの駆動信号を渦磁場による波形の歪を補償するように整形する第1の補償手段と、各チャンネルの駆動信号を他のチャンネルの渦磁場による波形の歪を補償するように整形する第2の補償手段と、第1の補償手段の出力信号と第2の補償手段の出力信号との合成信号を各チャンネルのコイル装置に供給する駆動手段とを具備する磁気共鳴イメージング装置である。

【0028】(10)前記第1の補償手段は(1)乃至(8)のいずれかに記載の渦磁場計測方法に従って渦磁場の時定数と強度を求め、求めた時定数、強度に応じて駆動信号の波形を成形することを特徴とする(9)に記載の磁気共鳴イメージング装置である。

【0029】(1)乃至(8)に記載の渦磁場計測方法によれば、数msから数sの広い時定数範囲に亘る時定数の渦磁場の時定数と強度とを正確に短時間で計測できる。

【0030】(9)、(10)に記載の磁気共鳴イメージング装置によれば、他チャンネルの傾斜磁場に基づく渦磁場であるカップリング渦の影響を高精度に計測し、補償することができる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明によるMRI装置の渦磁場計測方法の実施形態を説明する。

【0032】第1実施形態図1は第1実施形態が適用されるMRI装置全体の概略構成を示すブロック図である。ガントリ20内には、静磁場磁石1、x軸、y軸、z軸傾斜磁場コイル2、及び送受信コイル3が設けられる。静磁場発生装置としての静磁場磁石1は、例えば、超電導コイル、常伝導コイル、または永久磁石を用いて構成される。x軸、y軸、z軸傾斜磁場コイル2は、x軸傾斜磁場Gx、y

軸傾斜磁場 $G_y$ 、 $z$ 軸傾斜磁場 $G_z$ を発生するためのコイルである。送受信コイル3は、高周波(RF)パルスを生じ、かつ磁気共鳴により発生したエコー信号を検出するために使用される。裏台13上の被検体Pはガントリ20内のイメージング可能領域(イメージング用磁場が形成される球状の領域であり、この領域内でのみ診断が可能となる)に挿入される。なお、RFパルスの送信とエコー信号の受信は別々の送信コイル、受信コイルによって行ってもよい。

【0033】静磁場磁石1は、静磁場制御装置4により駆動される。送受信コイル3は、磁気共鳴の励起時には送信器5により駆動され、かつエコー信号の検出時には受信器6に結合される。 $x$ 軸、 $y$ 軸、 $z$ 軸傾斜磁場コイル2は、 $x$ 軸傾斜磁場アンプ7、 $y$ 軸傾斜磁場アンプ8、 $z$ 軸傾斜磁場アンプ9により駆動される。

【0034】 $x$ 軸傾斜磁場アンプ7、 $y$ 軸傾斜磁場アンプ8、 $z$ 軸傾斜磁場アンプ9、送信器5はシーケンスコントローラ10により所定のシーケンスに従って駆動され、 $x$ 軸傾斜磁場 $G_x$ 、 $y$ 軸傾斜磁場 $G_y$ 、 $z$ 軸傾斜磁場 $G_z$ 、高周波(RF)パルスを、後述する所定のパルスシーケンスで発生する。この場合、 $x$ 軸傾斜磁場 $G_x$ 、 $y$ 軸傾斜磁場 $G_y$ 、 $z$ 軸傾斜磁場 $G_z$ は、主として、例えば、読出し用傾斜磁場 $G_r$ 、位相エンコード用傾斜磁場 $G_e$ 、スライス用傾斜磁場 $G_s$ としてそれぞれ使用される。ホストコンピュータ11はシーケンスコントローラ10を駆動制御するとともに、受信器6で受信されるエコー信号としてのエコー信号を取り込んで所定の信号処理を施すことにより、被検体の断層像を生成し、表示部12で表示する。

【0035】図2は第1実施形態の渦磁場計測を行うパルスシーケンスを示す。第1実施形態の渦磁場計測は、比較的小さいNMRサンプルを渦磁場を計測したい領域に配置し、該サンプルに傾斜磁場プリパルスを印加した後、RFパルスを印加して該サンプルを複数回励起し、FID信号を連続して収集する第1ステップと、その各励起時のFID信号の位相の時間変化曲線を求める第2ステップと、その時間変化曲線から渦磁場の時定数と強度とを求める第3ステップとから構成され、図2に示したパルスシーケンスは第1ステップに関する。Geddyが傾斜磁場プリパルス、ADC1やADC2が各FID信号のサンプリング期間である。図2では、FID信号の収集が2回であるが、より多くても良い。図2のeddyLは長い時定数を持つ渦磁場、eddySは短い時定数を持つ渦磁場を表す。数msから数10ms程度の時定数のeddySの時定数と強度は1回目のFID信号収集期間ADC1で収集されたFID信号のみに基づいて計測可能である。それより長い時定数のeddyLの時定数と強度は2回目以降のFID信号収集ADC2…ADC $n$ で収集されたFID信号を組み合わせることにより計測可能である。

【0036】 $n$ 番目のFID信号収集期間ADC $n$ の $k$ 番目のデータを収集した時刻を $t_{n,k}$ とする。第2ステップでは、信号の位相を求め、 $t_{n,k}$ に対してその位相をプロットすることで、位相の時間変化曲線が求められる。つづいて、第3ステップでは、この時間変化曲線を渦磁場の強度と時定数の関数に当てはめられる。サンプル位置 $r$ での信号の位相は次のような式で表わされる。

$$\begin{aligned} \text{【0037】} \varphi(r, t) = & \gamma \alpha \tau_L G_{pre} \cdot r (\text{Exp}(t_a / \tau_L) - \text{Exp}(t_b / \tau_L)) \\ & * \text{Exp}(-t_n / \tau_L) (1 - \text{Exp}(-(t_{n,k} - t_n) / \tau_L)) \end{aligned}$$

ここで、 $\tau_L$ と $\alpha$ は渦の時定数と強度、 $G_{pre}$ はプリパルス強度(ベクトル)、 $t_a$ と $t_b$ はプリパルスの印加開始時刻及び終了時刻、 $t_n$ は $n$ 番目のFIDを生成するためのRFパルス印加時刻、 $\gamma$ は磁気回転比であり、プリパルスは矩形パルスであると仮定する。

【0038】 $n$ と $k$ の異なる複数のデータが収集されているので、上記の位相をデータに当てはめることで、渦磁場の時定数と強度を求めることができる。当てはめには最小二乗法等の既存の手法を用いることができる。プリパルスが矩形パルスではない場合は、上記の式を修正する必要があるが、これは当業者にとって容易である。

【0039】このように本実施形態によれば、傾斜磁場プリパルスGeddyを印加する回数は1回だけで複数の信号を収集できるので、図12に示した特公平3-49453号公報に記載の方法(短時定数渦磁場eddySと長時定数渦磁場eddyLの測定それぞれにプリパルスGeddyを印加する)と比べ、計測が高速になる。従来技術の説明で、特公平3-49453号公報に記載の方法の計測時間を200sと見積もったが、本実施形態では20s(TG=10s、N=1、M=2)となり、10分の1に短縮することができる。この場合、特公平3-49453号公報に記載の方法と同様に、本実施形態においてもNMRサンプルの位置を変えて少なくとも2回計測する。通常、NMRサンプルを置く位置は、プリパルスの印加する方向に位相をシフトさせるように定める。この2回のうち1回は、NMRサンプルは磁場中心に配置しても構わない。

【0040】本実施形態のより良い変形例として、プリパルスの強度を変えて本実施形態の第1ステ



ップと第2ステップを2回行ない、その2回の位相変化曲線の差分を取ってから第3ステップを実施する方法がある。これは、静磁場不均一性等による位相シフトがある場合にその影響を効果的に取り除くことができる。

【0041】以下、本発明による装置の他の実施形態を説明する。他の実施形態の説明において第1実施形態と同一部分は同一参照数字を付してその詳細な説明は省略する。

【0042】第2実施形態第2実施形態のブロック図は第1実施形態のブロック図と同一であるので、図示は省略する。本実施形態の第1ステップに関するパルスシーケンスを図3に示す。第1実施形態と異なるのは、NMR信号を出すサンプルとして、磁場中心を含むほぼ均一で大きな容積のファントムを使用する点と、FID信号を収集するためにファントムを励起する際に、RFパルスの印加と同時にスライス選択傾斜磁場Gsも印加するという点である。通常、傾斜磁場プリパルスGeddyとスライス選択傾斜磁場Gsは同一方向の傾斜磁場となるように設定する。そのため、この場合、プリパルスはスライス方向に印加する。なお、第1実施形態では、プリパルスの印加方向に制限はない。FID信号を連続して収集する第1ステップでは、常に同一のスライスの信号を収集する。本実施形態は、第1実施形態と比べて、NMRサンプルを移動させる手間が必要ないので、その分時間短縮が可能であるという利点がある。第1実施形態と異なり、励起の際にスライス傾斜磁場を印加するのは、大きなファントムを使用するため、励起断面位置を特定するためである。

【0043】本実施形態においても、第1実施形態の変形例のように、プリパルスの強度を変えて第1ステップを2回行うことで、静磁場不均一性や他のイメージング傾斜磁場パルスによる渦磁場等による位相シフトをキャンセルすることが可能である。ただし、撮影時間は2倍に延長する。

【0044】そこで、撮影時間を延長することなく、静磁場不均一性の影響を取り除くことが可能な本実施形態の他の2つの変形例を説明する。図4に示す変形例は、NMR信号を発生させるRFパルスの搬送波周波数Cfとプリパルスの強度を同一にしたまま、スライス傾斜磁場強度Gsの異なる2つの収集データセットADC1(+)～ADCn(+)とADC1(－)～ADCn(－)との間で位相の差分を行う。図5に示す変形例は、スライス傾斜磁場強度とプリパルス強度を同一にしたまま、NMR信号を発生させるRFパルスの搬送波周波数Cfの異なる2つの収集データセットADC1(+)～ADCn(+)とADC1(－)～ADCn(－)との間で位相の差分を行う。図4と図5の変形例は、ともに2枚のスライスからNMR信号を取得していることに変わりがないが、スライスの励起の仕方が異なっている。この2つの変形例は励起されるスライス(2枚)の中で静磁場不均一性があまり差がない場合に限って有効であるが、撮影時間が延長しない利点がある。また、図5に示す変形例は、他のイメージング傾斜磁場パルスによる渦磁場による影響も取り除くことができる点で、図4の変形例よりも更に好ましい実施形態である。

【0045】第3実施形態本発明の第3実施形態を説明する。本実施形態は、ファントム、ないし被検者そのものを計測したい渦磁場領域を含むように配置した上で、傾斜磁場プリパルスGeddyを印加する第1ステップと、ファントム、ないし被検者の一部を励起し、位相エンコードパルスGeを印加する第2ステップと、NMR信号を収集する第3ステップと、前記位相エンコードパルスGe1、Ge2の強度を変化させながら第1ステップから第3ステップまでを複数回(ここでは、2回)繰り返す第4ステップと、それらのNMR信号から複数の画像(2枚の画像)を再構成する第5ステップと、その複数の画像の位相変化曲線を求める第6ステップと、その位相変化曲線から渦磁場の時定数と強度とを求める第7ステップとから構成される。本実施形態をFID信号を使って空間2次元分布を計測するように構成した場合の第1～第4ステップのパルスシーケンスを図6に示す。本実施形態を空間1次元、あるいは空間的3次元の計測用に変形することは容易に類推可能である。

【0046】第5～第7ステップは、それぞれ公知な方法で実現可能である。例えば、第5ステップはケミカルシフトイメージングの再構成方法が適用でき、第6ステップ、第7ステップは第1実施形態の第2ステップ、第3ステップが適用できる。

【0047】本実施形態は、特開平4-189344号公報で開示された渦磁場空間分布計測法と似ているが、一つのプリパルスに対して複数のNMR信号を励起している点異なる。これにより、計測時間の大幅な低減が可能である。例えば、第1実施形態と同様の渦磁場とプリパルスの場合、特開平4-189344号公報に記載の方法では、 $16 \times 16$ のマトリクスの画像1枚あたり、計測時間は $TG(=10s) \times 16 \times 16 \times N(=10回: \text{プリパルスあたりの励起回数}) = 7.1$ 時間もかかるのに対し、本実施形態では、 $N=1$ であるので、その10分の1の43分で計測可能である。本実施形態でも、第1実施形態や第2実施形態と同様に、プリパルスの印加強度を変えて2回計測し、それぞれの位相変化曲線の差分を取った上で渦磁場の時定数と強度の空間分布を計測しても良い。

【0048】上記第1、第2および第3実施形態においてより良い改良は、傾斜磁場による横磁化のスプイラやRFスプイラを併用することである。これは、連続して励起する場合に、一つ以上前の励



起によるNMR信号が混入するのを防ぎ、FID信号の計測の精度を高め、効果がある。同様な理由で、NMRサンプルの横緩和時間は励起間隔TR程度以下であることが望ましい。

【0049】以上述べたように、本発明の第1、第2、第3実施形態によれば、時定数が数msから数sの広範囲に渡る渦磁場の時定数と強度を従来に比べてより高速に、しかも精度よく計測することが可能となる。

【0050】第4実施形態次に、渦磁場計測・補償における第2の問題であるカップリング渦を高精度に計測し、補償する実施形態について説明する。本発明の第4実施形態は、カップリング渦を計測する第1ステップ、カップリング渦の強度・時定数を反映したカップリング波形を生成する第2ステップ、通常の渦磁場補償波形を生成する第3ステップ、カップリング波形と渦補償波形とを加算し出力する第4ステップとから構成される。図7は第1ステップと第2ステップにおける処理の流れを示した流れ図である。図7において、本発明の第1、第2、第3実施形態や公知の渦磁場計測法を用いて、第1の軸(ここでは、x軸とする)方向のプリパルス印加し(ステップS2)、x軸方向の渦磁場を計測する(ステップS4)。渦磁場の時定数と強度を求めてから、傾斜磁場コイルの伝達関数を考慮してxコイルの渦補償器Exのパラメータを設定することで、xコイルの渦補償が行われる(ステップS6)。パラメータは傾斜磁場波形入力に対する磁場のインパルス応答(以下、H(s)と称する)を次のように修正する。つまり、渦磁場補償前のインパルス応答がf(s)であった場合、渦補償器Exのパラメータは $H(s) = f(s) \cdot (1/f(s)) = 1$ となるように決定される。具体的な実現方法は前述の特公平3-49453号に記載されている方法を使うことができる。続いて、第1の軸方向(x軸方向)に直交する第2の軸(ここでは、y軸とする)方向のプリパルス印加し(ステップS8)、同様にx軸方向の渦磁場を計測する(ステップS10)。この渦磁場がカップリング渦であり、この時定数と強度を反映したパラメータをカップリング渦補償器Eyxに設定する(ステップS12)。最後に、補償器Ex、Eyxの波形出力を加算し、傾斜磁場アンプの入力とすることで、渦補償された所望の磁場波形(x方向)が実現される。

【0051】図8に、一例として、xコイルとyコイルとの間にカップリング渦が存在し、xコイルのみを駆動する場合に、傾斜磁場の波形信号や磁場がどのように変更されるかを示す。シーケンスコントローラは、矩形状のx傾斜磁場パルスを実現するために、8-1に示すようなxコイル波形出力を生成する。xコイルの渦補償器Exは、xコイルの渦磁場を補償するように、8-3に示すような波形を生成する。また、カップリング補償器Eyxは7-4に示すようなカップリング渦を補償する波形を生成する。一方、yコイルの波形出力は8-2に示すようにゼロであるので、8-6に示す渦補償器Eyの出力信号や、8-5に示すカップリング補償器Eyxの出力信号もゼロのままである。補償器Ex、Eyxの出力信号が加算されてxコイルの傾斜磁場アンプに入力されると、8-7に示すように、x傾斜磁場波形が渦補償前の歪んだ波形(破線)から矩形状パルス(実線)に整形される。同時に、8-8に示すようにy方向の傾斜磁場波形は補償前の渦波形(破線)がキャンセルされてゼロ(実線)となる。

【0052】図9は上記のような通常の渦とカップリング渦の両方の補償を実現する構成を示す。渦補償器Ex、Ey、Ez、およびカップリング渦補償器Exy、Eyx、Exz、Ezx、Eyz、Ezyは微分回路のようなアナログ回路やデジタルフィルタのようなデジタル回路、あるいはソフトウェアにより構成される。このような回路構成は、公知の回路(例えば、特開平6-86766号公報)を利用しても実現可能である。

【0053】図10は本実施形態の別の構成を示す。図9と異なるのは、カップリング渦補償器の出力信号にコントローラからの波形出力を加算した後に渦補償器に入力されるという点である。このように構成する場合、カップリング渦磁場波形の時定数と強度をそのままカップリング渦補償器に設定することができる。一方、図9の場合は、各傾斜磁場コイル系の伝達関数を考慮して、時定数と強度を変換した後、設定することが必要である。

【0054】本実施形態の変形例として、カップリング渦を計測する第1ステップを空間2次元の渦磁場計測法に置き換えて実現することも可能である。図11はこの場合の処理の流れを示したもので、第1の軸(ここでは、x軸とする)方向のプリパルス印加し(ステップS22)、第1の軸とそれに直交する第2の軸(ここでは、y軸とする)で定義される平面(xy平面)内の渦磁場を計測する(ステップS24)。渦磁場の時定数と強度に応じて、xコイルの渦補償器Exのパラメータ(ステップS26)と、カップリング渦補償器Eyxのパラメータを設定する(ステップS28)。

【0055】本実施形態では、渦磁場の計測結果(時定数と強度)から、各傾斜磁場コイル系の伝達関数を考慮して渦補償器の回路定数やパラメータを求める段階が含まれている。この伝達関数をあらかじめ求めておいて、計算により回路定数やフィルタ係数を求めてもよい。また、伝達関数を求めることはせず、回路定数やフィルタ係数を何度か変えて実際の渦磁場を計測し、既存の最適

化手法等により渦磁場がゼロとなる回路定数やフィルタ係数を求めても良い。

【0056】

【発明の効果】以上述べたように、本発明により、時定数の広い範囲の渦磁場に対して強度と時定数の空間分布を高精度・高速に計測することが可能になる。また、カップリング渦の計測、および補償が実現でき、渦電流による画質低下を防止できる。

## 図の説明

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による磁気共鳴イメージング装置の第1実施形態の第1実施形態の構成を示すブロック図。

【図2】本発明の第1実施形態のパルスシーケンスを示す図。

【図3】本発明の第2実施形態のパルスシーケンスを示す図。

【図4】第2実施形態の第1の変形例のパルスシーケンスを示す図。

【図5】第2実施形態の第2の変形例のパルスシーケンスを示す図。

【図6】本発明の第3実施形態のパルスシーケンスを示す図。

【図7】本発明の第4実施形態における渦磁場計測、および渦補償器のパラメータ設定の流れを示す図。

【図8】第4実施形態における波形信号と磁場波形の関係を示す図。

【図9】第4実施形態の構成例を示す図。

【図10】第4実施形態の他の構成例を示す図。

【図11】第4実施形態の変形例における処理の流れを示す図。

【図12】従来技術のパルスシーケンスを示す図。

【図13】図12のFID収集期間と位相シフトの時定数の関係を示す図。

【図14】他の従来技術のパルスシーケンスを示す図。

【符号の説明】

1…静磁場磁石

2…x軸、y軸、z軸傾斜磁場コイル

3…送受信コイル

4…静磁場制御装置

5…受信器

6…送信器

7…x軸傾斜磁場アンプ

8…y軸傾斜磁場アンプ

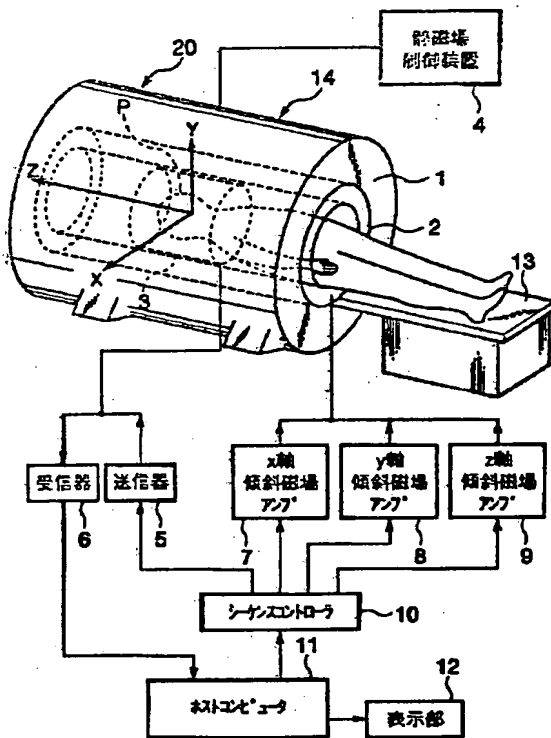
9…z軸傾斜磁場アンプ

10…シーケンスコントローラ

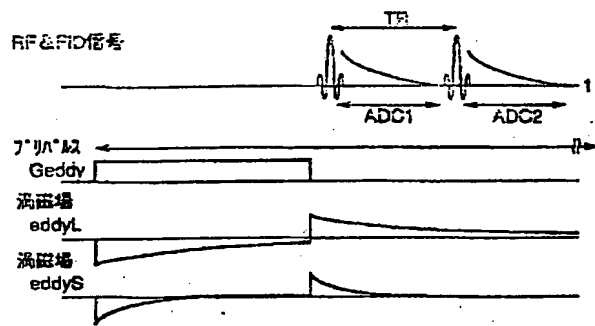
11…ホストコンピュータ

12…表示部

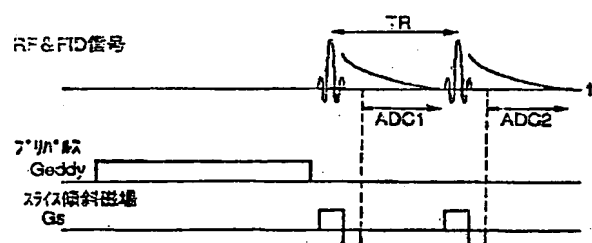
図面選択 図1



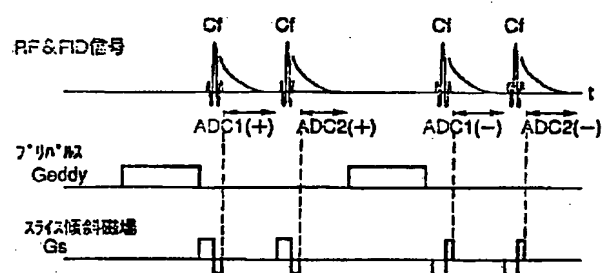
## 図面選択 図2



## 図面選択 図3

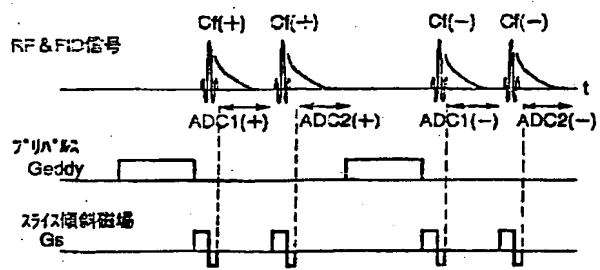


## 図面選択 図4

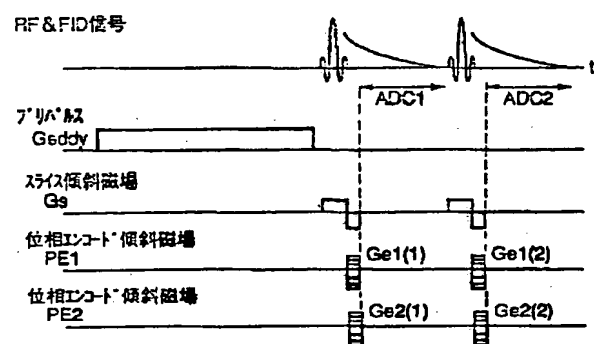




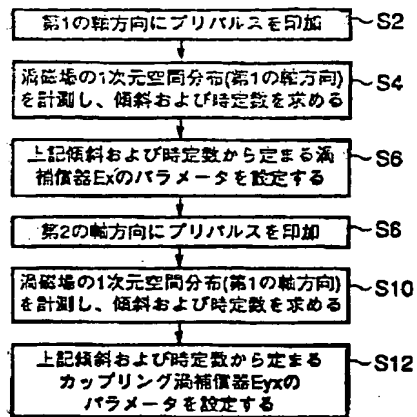
## 図面選択 図5

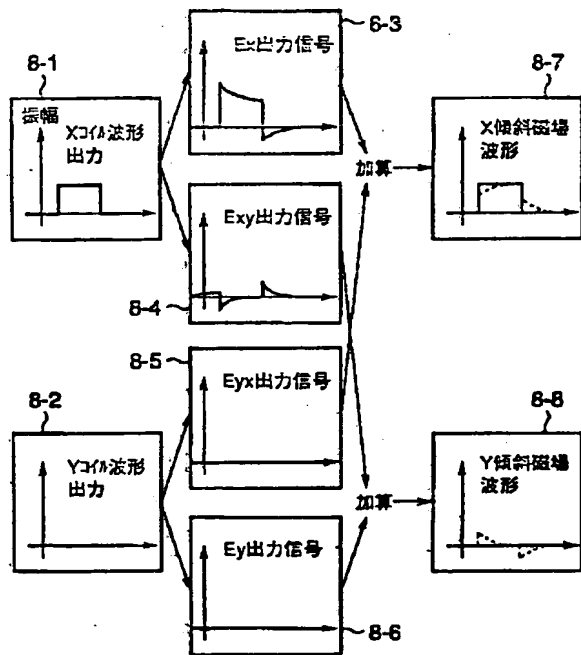


図面選択 図6



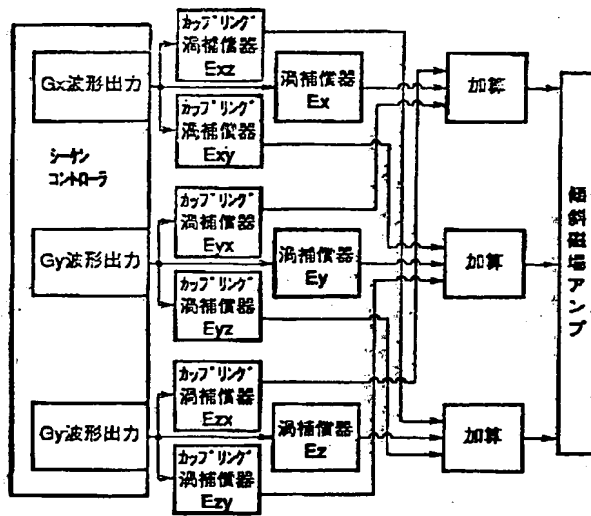
## 図面選択 図7

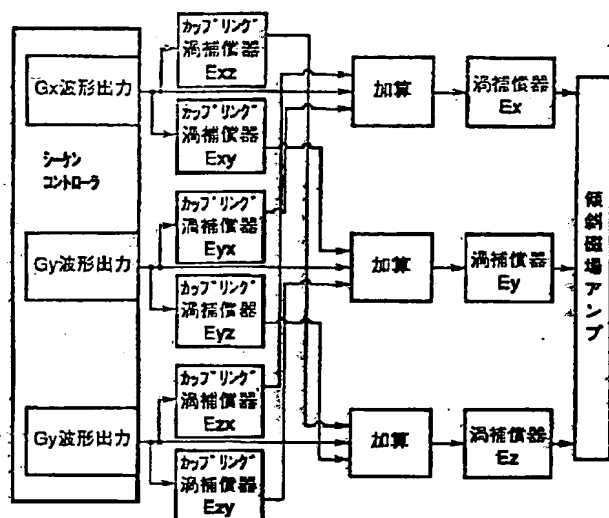




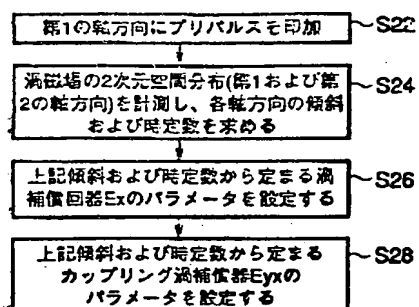
図面選択

図9



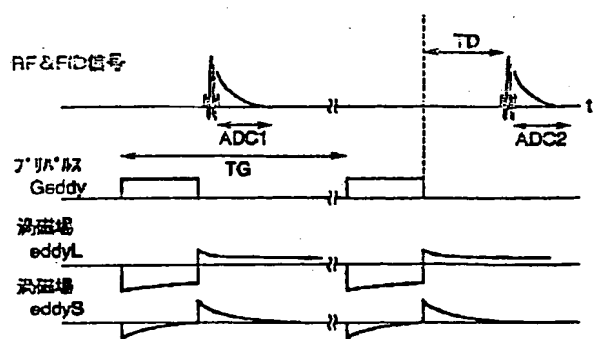


図面選択 図11



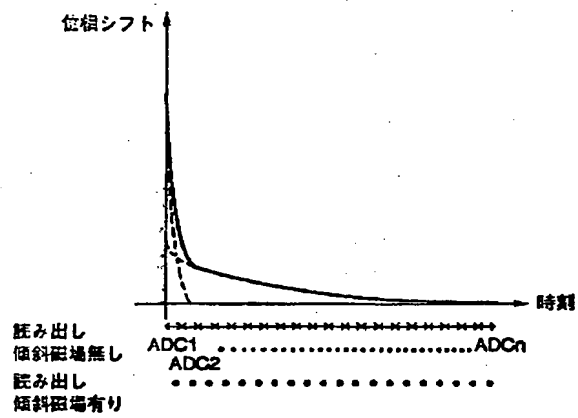


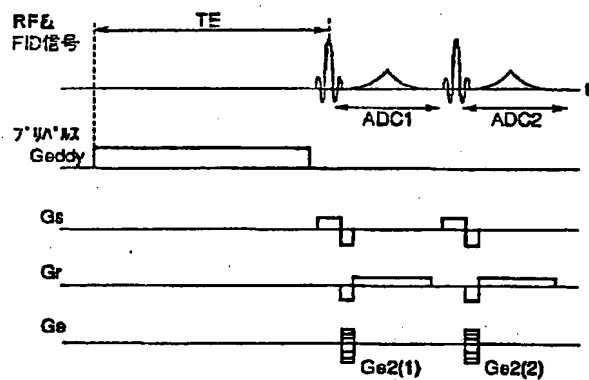
## 図面選択 図12



図面選択

図13





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**